动 物 学 研 究 2006，Jun. 27 (3)：281－285 CN 53－1040/Q ISSN 0254－5853
Zoological Research

河北省黄骅市三个重点蝗区两个时段土壤湿度的遥感提取

刘振波[1,*]，倪绍祥[2]，查 勇[2]，葛云健[3]

（1. 中国科学院南京土壤研究所 土壤与农业可持续发展国家重点实验室，江苏 南京 210008；
2. 南京师范大学 地理科学学院，江苏 南京 210097；3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所，江苏 南京 210008）

摘要：蝗灾是人类历史上重要的自然灾害之一，影响蝗灾爆发的因素很多，其中土壤湿度是重要的影响因素之一。以位于河北省黄骅市境内的3个重点蝗区——黄灶、杨官庄和藤南大洼为监测样区，利用高时间分辨率MODIS遥感影像数据，分别提取2002年（东亚飞蝗大发生年）秋蝗产卵期到夏蝗孵化期间的土壤湿度信息以及2004年（东亚飞蝗轻为害年）相同时段的土壤湿度信息，发现蝗灾大爆发年份的土壤湿度明显低于轻发生年份，在秋蝗的产卵期（9—10月）和夏蝗的孵化期（3—5月）差异尤为明显。

关键词：蝗灾；遥感；MODIS；土壤湿度

中图分类号：S433.2；Q969.265.2；Q958.112.5 **文献标识码**：A **文章编号**：0254－5853（2006）03－0281－05

Extracting Soil Moisture Using Remote Sensing Techniques in Three Severe Locust Areas in Huanghua County, Heibei Province, Across Two Periods

LIU Zhen-bo[1,*], NI Shao-xiang[2], ZHA Yong[2], GE Yun-jian[3]

(1. *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*;
2. *College of Geographical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing* 210097, *China*;
3. *Nanjing Institute of Geography & Limnology, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*)

Abstract: Locust plagues are one of the most severe plague problems in human history. Among the many factors influencing locust plagues, soil moisture content plays an important role. Three locations in Huanghua county of Hebei province were used as the study area, a region that has been severely affected by locust plague. Soil moisture content was extracted using MODIS remote sensing images from the time that fall locusts are at oviposition (September－October) to the time that summer locust is at hatching (March－April). The study was conducted in 2002, when the region had been severely suffered by locust plague, and from the same time in 2004, when locust plague was less severe. The study shows that soil moisture content in 2002, a year of locust plague, was lower than that in 2004. The effect was greater in September to October, when fall locusts are at ovipositon and in March to April. when summer locusts are hatching.

Key words: Locust plague; Remote sensing; MODIS image; Soil moisture

蝗灾与水灾、旱灾并称为人类历史上的三大自然灾害，全世界约有1/3的大陆，包括近100个国家或地区不同程度地受到蝗灾的威胁（Chen，2000）。在我国，为害最严重的蝗虫是飞蝗，其中东亚飞蝗［*Locusta migratoria manilensis*（Meyen）］是几千年来造成农业毁灭性灾害最严重的蝗虫，我国历史上曾发生的90%以上蝗灾由东亚飞蝗引起。影响东亚飞蝗成灾和分布的因素众多，主要包括气

* 收稿日期：2005－11－16；接受日期：2006－03－31
基金项目：国家自然科学基金项目（40371081）；江苏省高等学校研究生创新计划资助项目（04－16）
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：zbLiu@issas.ac.cn
第一作者简介：（1978－），男，博士，主要从事资源环境遥感与GIS应用研究。

候、土壤、植被、地形、天敌及人类活动等因素。其中土壤是东亚飞蝗栖息地组成中的一个重要生境因素：一方面，土壤的质地、含水量、含盐量和pH值等特性影响东亚飞蝗成虫对产卵地的选择、蝗卵在土壤中的发育和孵化以及土壤中蝗卵天敌的存活量等；另一方面，土壤作为蝗虫生境的一个要素，它影响到其他环境因子的状况，比如土壤理化性质的不同影响到其上生长的植被类型及长势，从而构成不同特性的蝗虫生境，间接影响蝗虫的发生（Shi et al，2004）。

土壤含水量是土壤重要的理化性质之一，影响到蝗虫对产卵地的选择和虫卵的越冬及孵化。东亚飞蝗产卵的适宜含水量，砂土为10%—20%，壤土为15%—18%，黏土为18%—20%（Chen，2000）。东亚飞蝗蝗卵的正常孵化与土壤含水量有关。在自然条件下，卵的发育速度受土壤湿度影响甚大。适宜的土壤含水量视土质而异，其变化幅度在12%—20%，土壤颗粒越细，需水分愈多。当土壤水分不足时，蝗卵胚胎发育会受到抑制（Ma，1961a）。在温度适宜的条件下，土壤含水量在8%—22%时，草地蝗虫胚胎开始发育；如果土壤湿度过低，会发生“倒渗透”现象，即蝗卵体内水分渗向土壤，导致蝗卵干瘪率增大，同时还会影响蝗蝻出土；土壤湿度过高，会引起蝗卵的霉烂（Ni & Gong，2002）。这些研究主要针对于特定飞蝗生长期内的适宜土壤含水量状况，而土壤湿度会对飞蝗从产卵、越冬到孵化的整个生活周期产生综合影响，这种综合影响是决定飞蝗发生成灾的关键所在。

土壤湿度的常规测量方法，如土钻取土称重法、中子仪法等，采样速度较慢，不仅费力、费时，而且测点少，代表性差，无法实现大面积土壤水分的实时动态监测。随着遥感技术的发展，特别是随着遥感与GIS、GPS集成及应用技术的日益成熟，使得大面积土壤水分实时或准实时动态监测成为可能。

本研究以位于河北省黄骅市境内的3个重点蝗区为监测样区，利用MODIS遥感影像数据，分别提取2002年（东亚飞蝗大发生年）从上一年秋蝗产卵期（2001年8月）到当年夏蝗孵化期（2002年5月）和2004年（东亚飞蝗轻为害年）相同时段的每8天连续时间的土壤湿度信息。根据两个时段的土壤湿度信息，对土壤湿度对东亚飞蝗成灾的影响进行初步分析。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于邻近环渤海的河北省黄骅市（E117°05′—E117°49′，N38°09′—N38°39′）。该地区属于典型的沿海蝗区。地势低洼，多坑塘、洼淀，苇荒地面积大，70%土地瘠薄、盐碱，耕作粗放，加之气候春旱、夏涝，为东亚飞蝗的发生与繁殖创造了适宜条件，致使飞蝗几乎年年发生，是我国东亚飞蝗的重要发生基地之一。

本研究所选3个监测样区——黄灶蝗区、藤南大洼蝗区和杨官庄洼地蝗区均为黄骅市重点蝗区。黄灶蝗区位于黄骅市东北部，北与天津市北大港蝗区毗邻，南与南大港蝗区相连，面积约7 330 hm^2。样区内地势低洼、平坦，由于近几年降水减少、地下水过度开采、人工蓄水不足等原因，除低洼地和防火沟有季节性积水外，常年无水，形成了华北地区著名的东亚飞蝗发生地。样区内95%的植被为蝗虫最喜食的芦苇，另伴生有碱蓬［*Suaeda glauca*（Bunge）Bunge］、盐地碱蓬［*S. salse*（L.）Pall］、狗尾草［*Setaria viridis*（L.）Beauv.］、苔草（*Carex* sp.）、荻［*Miscanthus sacchariflorus*（Maxim.）Benth.］和稗草［*Echinochlon crusgalli*（L.）Beauv.］等。藤南大洼蝗区和杨官庄洼地蝗区分别位于黄骅市西南部和西北部，自然环境状况与黄灶蝗区基本相同。

1.2 数据来源

本研究选用的遥感影像数据为MODIS地表温度数据和植被指数数据，分别是NASA网站上提供的8天合成的1 km分辨率的MOD11A2数据和16天合成的1 km分辨率的MOD13A2数据。共选用2001年7月28日—2002年6月8日以及2003年7月28日—2004年6月8日两个时段共78景的地面温度（land surface temperature，LST）和39景植被指数（vegetation index，VI）影像数据。

1.3 温度/植被旱情指数法模型

本研究采用温度/植被旱情指数法（temperature-vegetation dryness index，TVDI模型）提取土壤湿度信息。结合遥感陆面温度和光谱植被指数进行土壤湿度信息提取研究已有许多先例，Carlson et al（1994）研究发现，当研究区域的植被覆盖度范围较大时，从遥感得到的地表温度（surface tempera-

ture，Ts）和归一化植被指数（normalize different vegetation index，NDVI）作为横、纵坐标得到的散点图呈三角形。Sandholt et al（2002）在研究土壤湿度时发现，Ts-NDVI 特征空间中有很多等值线，于是利用简化的 Ts-NDVI 特征空间进一步提出了水分胁迫指标，即温度/植被旱情指数（temperature-vegetation dryness index，TVDI）。在该特征空间中，将湿边（Ts-min）处理为与 NDVI 轴平行直线，旱边（Ts-max）与 NDVI 成线性关系（图 1），在旱边上 TVDI = 1，在湿边上 TVDI = 0。对于每个像元，利用 NDVI 确定 Ts-max，根据 Ts 在 Ts-NDVI 中的位置，计算 TVDI。TVDI 越大，土壤湿度越低。TVDI 定义为：

$$TVDI = \frac{Ts - Ts\text{-min}}{Ts\text{-max} - Ts\text{-min}} \quad (1)$$

式中：Ts 为任意像元的地表温度；$Ts\text{-min} = a_1 + b_1 \times NDVI$ 为某一 NDVI 对应的最小地面温度，即湿边拟合方程；$Ts\text{-max} = a_2 + b_2 \times NDVI$ 为某一 NDVI 所对应的最高温度，即旱边的拟合方程。a_1，b_1，a_2 和 b_2 分别是旱边和湿边拟合方程的系数。

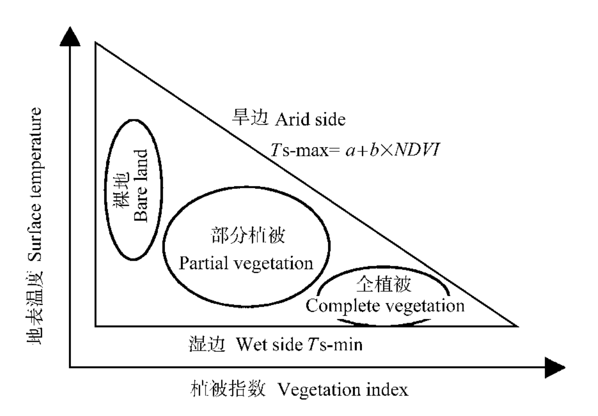


图 1　*Ts-NDVI* 特征空间图

Fig. 1　*Ts-NDVI* space

1.4　土壤湿度信息的遥感提取

1.4.1　遥感数据预处理　本研究使用的 MODIS 数据产品均以灰度值（digital number，DN）的形式提供，需转化为真实地表温度（LST）和植被指数（NDVI）。利用 MODIS 产品数据处理软件 HDF Explorer，读出两种数据各自的转换参数（scale_factor）和转换方程，得到地表真实温度和 NDVI。此外，利用投影转换软件 MRT 进行原始影像投影变换，投影采用经纬度投影，最近邻方法重采样。

1.4.2　特征空间干湿边方程的拟合　通过 VB6.0 编程，提取整幅影像区域相同 NDVI 下的不同像元对应的所有地面温度，在其中找出对应的最高和最低温度，NDVI 取样步长为 0.01。一景 16 天合成 NDVI 影像分别提取所对应的两景 8 天合成陆地表面温度，这样得到 2001 年 8 月—2002 年 5 月和 2003 年 8 月—2004 年 5 月的每 8 天两个时段的共 78 个 Ts-NDVI 特征空间数据。

利用提取的 Ts-NDVI 特征空间数据，分别对 NDVI 和 Ts-max、Ts-min 进行线性回归拟合，就可获得旱边和湿边方程系数。但实际研究中发现特征空间中的最大、最小陆地表面温度并非一条直线。因此，选择像元进行回归拟合获得合适的干湿边方程，应随具体研究区域而有所不同。本研究以研究时段内植被覆盖较差的 2002 年 1 月 1 日—2002 年 1 月 8 日影像和植被覆盖较好的 2002 年 5 月 25 日—6 月 1 日影像 Ts-NDVI 特征空间为例（图 2），确定干湿边方程的拟合区间。由于 NDVI < 0 的地表主要为水体、云或雪，可认为地表的湿度为 100%。因此在分析时，对 NDVI 小于 0 的像元不予考虑。在 NDVI > 0 的空间中，旱边峰值大致位于 0.15 < NDVI < 0.2 之间。根据已有研究（Tian & Min，1998），当植被覆盖度小于 15% 时，因植被覆盖度很低，其 NDVI 很难指示区域的植物生物量，作物生长初期 NDVI 将过高估计植被覆盖度，所以本研究在拟合干湿边方程时，统一选取 0.15 < NDVI < 1 的像元。据此分别计算 2001 年 8 月—2002 年 5 月和 2003 年 8 月—2004 年 5 月的每 8 天的 Ts-NDVI 特征空间的干边和湿边方程。

1.4.3　监测样区土壤湿度信息的提取　根据公式（1）计算整幅影像的每一个像元的 TVDI 值。在遥感影像处理软件 ENVI4.0 支持下，分别提取 3 个监测样区（藤南大洼、杨官庄、黄灶蝗区）的土壤湿度信息。然后，分别求出该 3 个监测样区内 2001 年 8 月—2002 年 5 月和 2003 年 8 月—2004 年 5 月每 8 天时段的平均土壤湿度，并根据每 8 天的 TVDI 值，计算得到各月的平均土壤湿度。

2　结　果

2.1　监测样区两时段内每 8 天土壤湿度的差异

3 个蝗区每 8 天时段的土壤湿度的最高值、最低值、平均值和标准差见表 1。三个蝗区土壤旱情指数大致相同；2001—2002 年时段内土壤旱情指数的最高值、最低值和平均值都高于 2003—2004 年时段内，表明监测样区在飞蝗灾害大爆发时段比

飞蝗较轻为害时段干旱。

2.2 监测样区两时段内月均土壤湿度的差异

河北省黄骅市 3 个蝗区两个时段月平均土壤旱情指数见表 2。在两时段中，8、11、12、1 和 2 月份的土壤旱情指数基本相同；9、10、3、4、5 月的各月土壤旱情指数状况则表现为 2003—2004 年时段明显低于 2001—2002 年时段。这两个时段分别是在秋蝗产卵期（9、10 月）和夏蝗孵化期（3、4、5 月），而在蝗卵过冬期（12、1、2 月）土壤湿度基本相同。

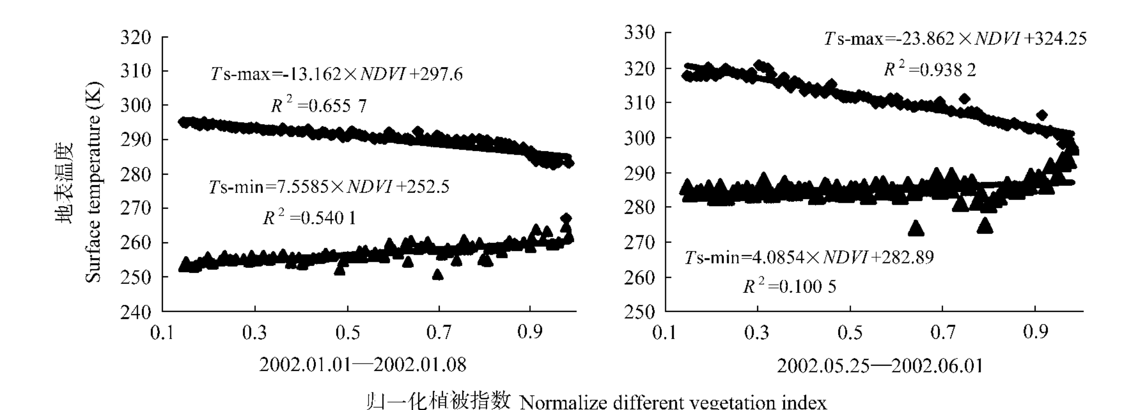


图 2 研究区两个时段（2002 年 1 月 1 日—2002 年 1 月 8 日；2002 年 5 月 25 日—2002 年 6 月 1 日）的 Ts-$NDVI$ 特征空间

Fig. 2 Ts-$NDVI$ spaces in study area of two periods (1st Jan - 8th Jan, 2002; 25th May - 1st June, 2002)

表 1 两个时段河北省黄骅市 3 个蝗区每 8 天平均土壤旱情指数

Tab. 1 Average TVDI* each eight days in three locust areas in Huanghua county, Heibei Province, across two periods

	藤南大洼 Tengnan area		杨官庄 Yangguangzhuang area		黄灶 Huangzao area		三蝗区平均 Average value in three areas	
	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04
最高值 Maximum	0.94	0.88	0.91	0.88	0.86	0.86	0.90	0.87
最低值 Minimum	0.55	0.34	0.52	0.49	0.48	0.34	0.52	0.39
平均值 Average	0.77	0.67	0.75	0.71	0.70	0.64	0.74	0.67
标准差 *SD*	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11

* Temperature-vegetation dryness index.

表 2 两个时段河北省黄骅市 3 个蝗区月平均土壤旱情指数

Tab. 2 Average monthly TVDI* in three locust areas in Huanghua county, Heibei province, across two periods

月份 Month	藤南大洼 Tengnan area		杨官庄 Yangguangzhuang area		黄灶 Huangzao area		三蝗区平均 Average value in three areas	
	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04	01 - 02	03 - 04
8	0.85	0.84	0.82	0.83	0.80	0.79	0.82	0.82
9	0.87	0.71	0.87	0.82	0.80	0.68	0.85	0.74
10	0.76	0.63	0.73	0.66	0.66	0.62	0.72	0.64
11	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.56	0.62	0.60
12	0.66	0.64	0.66	0.67	0.61	0.63	0.64	0.65
1	0.73	0.70	0.70	0.75	0.66	0.65	0.70	0.70
2	0.70	0.64	0.65	0.67	0.64	0.62	0.66	0.64
3	0.79	0.59	0.78	0.61	0.69	0.57	0.75	0.59
4	0.81	0.63	0.78	0.69	0.69	0.62	0.76	0.65
5	0.89	0.68	0.88	0.75	0.79	0.65	0.85	0.69
标准差 *SD*	0.089	0.071	0.092	0.079	0.077	0.064	0.084	0.069

* Temperature-vegetation dryness index.

3 讨 论

3.1 土壤湿度对蝗虫成灾的影响

本研究利用 MODIS 遥感影像数据，分别提取研究区两个时段（从秋蝗期到夏蝗孵化出土期）连续的土壤湿度信息，发现在蝗灾大爆发和轻发生的两时段内，土壤湿度状况存在明显的差异。总体上看，蝗灾大爆发年份的土壤湿度要明显低于轻发生年份；从每月平均土壤湿度状况看，在蝗卵越冬期（11、12、1、2 月份）土壤湿度状况相差很小，而在秋蝗产卵期（9、10 月）和夏蝗的孵化期（3、4、5 月）蝗灾大爆发年份的土壤湿度明显低于轻发生年份。这一结果验证了早期利用统计数据得到的研究结果（Ma，1961b；Zhu，1999；Shi et al，2004），在研究区，较低的土壤湿度更适应蝗灾的爆发。造成这一现象的主要原因：一方面，在秋蝗产卵期如果土壤水分含量较低，就会使土壤质地变得比较坚实，且地面植被稀疏，这种土壤环境较适宜蝗虫产卵；同时，干旱环境下低洼地裸露，也为蝗虫提供了更多适合产卵的场所。另一方面，夏蝗孵化期的土壤水分含量较低，造成植物含水量较低，蝗虫以此为食，生长较快，而且生殖力较高。相反，多雨和阴湿的土壤环境对蝗虫的孵化和生存有许多不利影响，如蝗虫取食的植物含水量高会延迟蝗虫生长和降低生殖力，较高强度的降水能直接杀灭蝗虫卵等。

3.2 遥感技术应用于蝗灾机理研究的优势

遥感技术的应用使大面积土壤湿度实时动态监测成为可能，而且成本低廉、可操作性强。本研究由于 MODIS 遥感数据源的时间限制，在可选择的范围内只选择了近期有代表意义的两年连续数据进行土壤湿度信息提取及与东亚飞蝗发生关系的研究，对于土壤湿度影响东亚飞蝗成灾的特征时段及在特征时段土壤湿度信息的特征研究还不够深入。今后应在一定时间（多年）的研究数据积累的基础上，综合研究其机理，找出土壤湿度影响东亚飞蝗的特征时段及在特征时段土壤湿度信息的特征，即找出在不同时段内土壤湿度影响东亚飞蝗发生的阈值。此外，土壤理化性质影响东亚飞蝗发生是综合影响的结果，土壤质地、含盐量、pH 值等土壤理化性质都会影响东亚飞蝗的成灾，今后应在土壤湿度影响机理研究的基础上，结合其他土壤理化性质进行更全面的综合研究。

参考文献：

Carlson TN，Gillies RR，Perry EM. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover［J］. *Remote Sens Rev*，**52**：45 – 59.

Chen YL. 2000. Main achievements of study on migratory locusts and its management in China［J］. *Entomol Knowledge*，**37**（1）：50 – 59.［陈永林. 2000. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就. 昆虫知识，**37**（1）：50 – 59.］

Ma SJ. 1961a. Study on the oriental migratory locust ecology in China［J］. *Entomol Knowledge*，**10**（6）：436 – 438.［马世俊. 1961a. 中国东亚飞蝗生态学的研究. 昆虫知识，**10**（6）：436 – 438.］

Ma SJ. 1961b. Make over the place of locust *Migratoria manilensi*（Meyen）［A］. In：Chinese Agricultural Academy. China Plant Conservation Sciences［M］. Beijing：Science Press，424 – 436.［马世骏. 1961b. 改造东亚飞蝗发生地. 见：中国农业科学院编. 中国植物保护科学. 北京：科学出版社，424 – 436.］

Ni SX，Gong AQ. 2000. Analysis on ecological environment of grasshoppers around Qinghai Lake［J］. *Rural Ecoenviron*，**16**（1）：5 – 8.［倪绍祥，巩爱岐. 2000. 环青海湖地区草地蝗虫发生的生态环境条件分析. 农村生态环境，**16**（1）：5 – 8.］

Sandholt I，Rasmussen K，Andersen J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status［J］. *Remote Sens Environ*，**79**（2）：213 – 224.

Shi RX，Liu C，Li DM，Xie BY. 2004. Distribution of *Migratoria manilensis* and soil in the locust plague area at Bayangdian［J］. *Entomol Knowledge*，**40**（1）：29 – 33.［石瑞香，刘 闯，李典谟，谢宝瑜. 2004. 白洋淀蝗区东亚飞蝗的分布与土壤的关系研究. 昆虫知识，**40**（1）：29 – 33.］

Tian QJ，Min XJ. 1998. Advances in study on vegetation indices［J］. *Adv Earth Sci*，**13**（4）：327 – 333.［田庆久，闵祥军. 1998. 植被指数研究进展. 地球科学进展，**13**（4）：327 – 333.］

Zhu EL. 1999. Occurrence and Management of the Oriental Migratory Locust in China［M］. Beijing：China Agriculture Press，3 – 38.［朱恩林. 1999. 中国东亚飞蝗发生与治理. 北京：中国农业出版社，3 – 38.］